MECHANISCHE SCHWINGUNGEN ISOLIRT GESPANNTER DRÄHTE MIT SICHTBARER ELEKTRISCHER SEITENENTLADUNG.

INAUGURAL-DISSERTATION

VERFASST UND DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

UNIVERSITÄT ROSTOCK

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT

VON

OSCAR VIOL,

INGENIEUR AUS BRESLAU.

LEIPZIG,

JOHANN AMBROSIUS BARTH.

1900.

Referent: Prof. Dr. R. Wachsmuth.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

MEINEN ELTERN.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552717_0103

Bei einer Untersuchung über elektrische Schwingungen in Drähten, veranlasst durch eine Arbeit des Hrn. W. v. Bezold[1]), ergab sich eine interessante Erscheinung, die, soweit aus der Litteratur zu ersehen war, bis jetzt nicht bekannt ist.

Spannt man nämlich einen Draht an beiden Enden isolirt so ein, dass das eine Ende frei bleibt, das andere dagegen durch eine Funkenstrecke mit der einen Conductorkugel einer Influenzmaschine verbunden wird (der andere Pol der Maschine ist zur Erde abgeleitet) und lässt eine Entladung durch den Draht gehen, so leuchtet er zwischen den Isolirstellen nicht an seiner ganzen Länge auf, sondern nur in regelmässigen Intervallen, die von dunklen Stellen unterbrochen sind.

Es soll nun im weiteren gezeigt werden, dass man es bei dieser Erscheinung nicht mit elektrischen Wellen, sondern mit mechanischen Schwingungen des Drahtes zu thun hat, und wie diese zu stande kommen.

I.

Im Jahre 1870 gab Hr. W. v. Bezold[2]) eine Arbeit als „Vorläufige Mitteilung" bekannt, worin er mit Hülfe der Lichtenberg'schen Staubfiguren die durch eine elektrische Entladung in Drähten erzeugten stehenden Wellen untersuchen wollte.

Hertz[3]) hat diese Arbeit in seinen gesammelten Werken aufgenommen und auch v. Bezold macht noch einmal auf seine Arbeit aufmerksam.[4])

---

1) W. v. Bezold, Pogg. Ann. **140.** p. 541. 1870.
2) W. v. Bezold, l. c.
3) H. Hertz, Gesammelte Werke **2.** p. 59. 1894.
2) W. v. Bezold, Wied. Ann. **63.** p. 124. 1897.

Da eine Wiederholung seiner Untersuchungen nicht bekannt, erschien es wünschenswert, mit neueren Methoden wenigstens einige der v. Bezold'schen Versuche wieder anzustellen.

v. Bezold benutzte bei seinen Versuchen, soweit sie hier in Betracht kommen, die Anordnung, wie sie aus beistehender Fig. 1 ersichtlich ist.

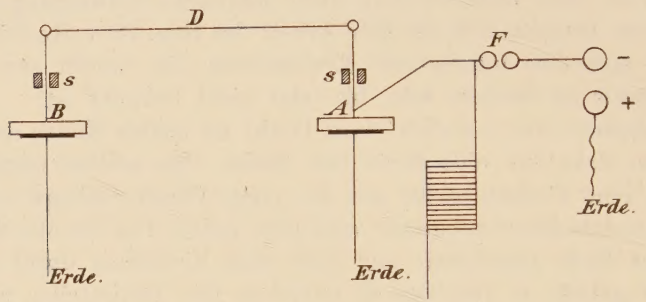

Fig. 1.

Von den Conductoren einer Influenzmaschine war der eine Pol, in den meisten Fällen der positive, zur Erde abgeleitet, während der negative mittels einer Funkenstrecke *F* mit dem zu untersuchenden Draht verbunden war.

Um den Draht an zwei Stellen gleichzeitig beobachten zu können, wurden zwei Zuleiter auf zwei Probeplatten[1]) geführt, deren Belegungen mit der Erde verbunden waren. Als Zuleiter dienten senkrecht aufgesetzte stählerne Stricknadeln, deren Enden mit Klemmschrauben zum Befestigen des Drahtes versehen waren. Die Zuleitung zur ersten Probeplatte geschah etwa 1 cm über derselben. War vorher die Entladung eine alternirende, so wurde sie durch Einschalten der Probeplatte in eine einfache verwandelt. Dies kann man auch leicht aus der Beschaffenheit des Funkens erkennen. Während er im ersten Fall hellleuchtend ist, erscheint er im zweiten Fall nur als schmale purpurne Linie mit einem hellen Punkt auf Seite der positiven Elektrode.

---

1) Unter Probeplatten versteht v. Bezold einseitig belegte Glastafeln, Ebonitplatten oder Harzkuchen.

Damit auch bei Einschaltung der Probeplatte eine alternirende Entladung erzielt werden konnte, bediente sich v. Bezold einer geeigneten Rückleitung zur Erde, welche dicht hinter der Funkenstrecke angelegt wurde und aus der secundären Windung eines Inductoriums bestand. Ein einfacher Draht erwies sich nicht als geeignet.

Er fand nun, dass, sobald der Draht D die Länge von 1 m überschritten hatte, die Entladungsfigur bei B stets grösser war als bei A. Bei wachsendem D wurde A immer kleiner, bis sie schliesslich bei $D = 6{,}4$ m und $F = 4{,}0$ mm auf ein kleines Sternchen reducirt wurde, manchmal auch ganz ausblieb. Erst wenn D wieder ungefähr auf das Doppelte seiner Länge gebracht war, wurde die Figur bei A wieder grösser.

Hatte er drei Zuleiter, A, B, C, so konnte er bei passender Wahl der Drahtlängen bei A und C gleich grosse Figuren erzeugen, während bei B nur kleine Sternchen erschienen.

v. Bezold schloss hieraus, dass sich bei B ein Knoten der elektrischen Drahtwelle befinde. Bei fünf Zuleitern konnte er zwei Knoten und drei Bäuche erhalten.

Die Versuche wollten mir nicht recht gelingen, wenn auch, wie leicht vorauszusehen war, andere Drahtlängen erhalten werden mussten, so war es trotzdem nicht möglich, die beschriebenen Grössenunterschiede in den Figuren zu erhalten. Hängen sie von der Art der Entladung ab, oder von der Grösse der Funkenstrecke? In letzterem Falle müsste man doch für jede Funkenstrecke bei passender Wahl der Drahtlängen die Knoten bestimmen können.

Ebensowenig gelang mir bei gleichbleibender Drahtlänge und Variiren der Funkenstrecke die Umkehr der Figur von negativ zu positiv nachzuweisen.

Anordnung hierzu ist aus Fig. 2 ersichtlich.

Von dem positiven Conductor führte ein Draht zur Funkenstrecke F. Von da gingen zwei Drähte ab; der eine führte direct zur Erde, der andere dagegen zum Zuleiter. Hierbei erhielt v. Bezold als Entladungsfiguren rote, unregelmässig gezackte Sterne mit gelbem, strahligem Centrum, also auffallenderweise negative Figuren.

Er fand nun, dass bei kleinen Funkenstrecken die Entladungsfigur mit der durch die Funkenstrecke schlagenden

Elektricität gleichnamig war. Bei Vergrösserung der Funkenstrecke nahm der Durchmesser der Figur ab, sie blieb dann eine Zeit aus und bei noch weiterer Vergrösserung über 15 mm hinaus zeigte die Figur entschieden positiven Charakter. Bei der Wiederholung mit negativer Elektricität wurden die gleichen roten gezackten Figuren erhalten, welche jedoch bei Vergrösserung der Funkenstrecke ihren Charakter nicht änderten. Hingegen fand sich, dass die Grösse der Figur bei wachsender Funkenstrecke erst anwuchs, dann wieder abnahm, bis sie bei $F = 14$ mm ein Minimum erreichte. Bei weiterer Vergrösserung bis $F = 22$ mm konnte wieder ein Anwachsen der Figur beobachtet werden. Eine nochmalige Abnahme war nicht zu

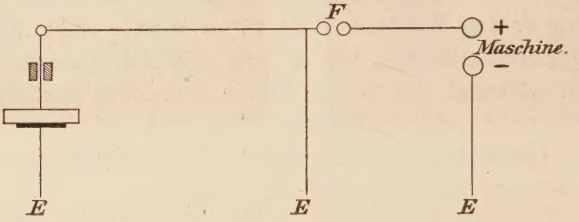

Fig. 2.

constatiren, da der Funke bei grösserer Entfernung der beiden Kugeln nicht mehr übersprang. Aus diesem periodischen Anwachsen und Abnehmen der Figur hätte man leicht schliessen können, dass eine Welle in dem Draht entsteht und am Ende reflectirt wird; sie spricht dann bei der gegebenen Drahtlänge einmal am besten und einmal am schlechtesten an, je nachdem wird die Figur gross oder klein.

Dasselbe Resultat wurde bei der positiven Elektricität erzielt. Figg. 3a und 3b geben die Figuren bei den Funkenstrecken $F = 4$ mm und $F = 22$ mm in halber Grösse.

Bei $F = 2$ mm hatte die Figur 25 mm äusseren Durchmesser. Um zu sehen, wie die Entladung längs des Drahtes beschaffen ist, immer bei Schaltung nach Fig. 2, wurde eine 50 cm lange Ebonitplatte an verschiedenen Stellen an den Draht gelegt; die andere Seite der Platte war mit Stanniol belegt und zur Erde abgeleitet.

Liess man nun einen Funken bei F überspringen und bestäubte die Platte mit dem bekannten Gemisch von Mennige

und Schwefel, so entsprach das erhaltene Bild, welches Fig. 4 zeigt, nicht den Erwartungen.

Denn v. Bezold sagt am Schlusse seiner Arbeit: „Sendet man einen elektrischen Wellenzug in einen am Ende isolirten Draht, so wird derselbe reflectirt und Erscheinungen, welche

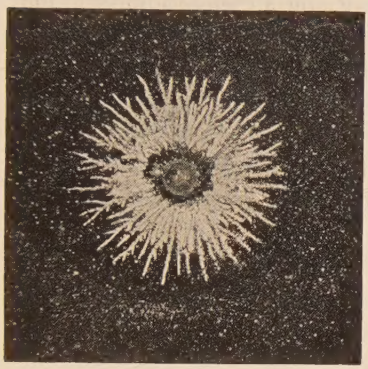

Fig. 3a.

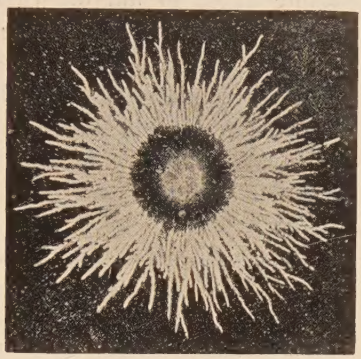

Fig. 3b.

diesen Vorgang bei alternirenden Entladungen begleiten, scheinen ihren Ursprung der Interferenz der ankommenden und reflectirten Wellen zu verdanken".

Erwartete man also hiernach, nach der Bestäubung ein Wellenbild zu erhalten, indem an den Knoten keine Ent-

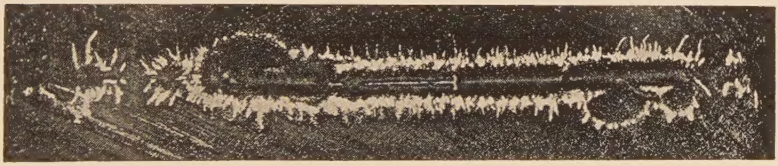

Fig. 4.

ladung stattfinden konnte, während sie an den Bäuchen sehr gross sein müsste, so wurde man sehr enttäuscht. Das erhaltene Bild zeigte immer, ganz gleich an welcher Stelle des Drahtes es erzeugt wurde, in der Mitte einen feinen gelben Strich, begrenzt rechts und links von einem breiteren roten, welche dann von gelben strahlenförmigen Streifen eingefasst wurden. Einige Unregelmässigkeiten kamen stets vor, da nie der Draht auf der Platte überall glatt anlag.

Auch wurde versucht, die Entladungsfiguren auf photographischen Platten zu erzeugen. Trotzdem die Gelatineschicht ein sehr guter Isolator ist, gelang es nicht, eine Staubfigur herzustellen.

Liess man erst eine Entladung auf die Platte und bestäubte dann, so war die Verteilung von Mennige und Schwefel ganz gleichmässig; bestäubte man zuerst und liess dann die Entladung erfolgen, so wurde kreisförmig um den Zuleiter das Pulver weggeblasen, ohne dass man in beiden Fällen eine Figur erhalten konnte.

Nur durch nachheriges Entwickeln der Platten konnte man eine Figur hervorrufen, jedoch von wesentlich anderem Aussehen.

Diese Lichtenberg'schen Figuren auf photographischen Platten sind schon längst gemacht worden,[1]) sodass wohl hier nicht näher darauf eingegangen zu werden braucht.

Ein Versuch von Hrn. Friedländer[2]) sei hier noch erwähnt. Derselbe lötete an einen 15 m langen Kupferdraht kleine Spitzen auf, während an den Enden grössere Kugeln befestigt waren. Liess er auf eine von ihnen einen Funken überspringen und wurden an die Spitzen photographische Platten gehalten, so traten auf letzteren an den Enden Figuren auf, in der Mitte nicht. Er erklärte sich dies als eine Folge von Interferenz.

Auch das neue Dreipulvergemisch des Hrn. K. Bürker[3]) wurde probirt, jedoch ohne bemerkenswerte bessere Resultate. Da bei diesem Pulver die positiven Figuren rot werden und die negativen gelb, so ist es beim Abphotographiren der Figuren vielleicht von Vorteil, dass man bei Harzkuchen immer sowohl die positiven wie negativen Figuren gelb auf dunklem Grunde erzeugen kann, je nach dem Pulver, mit welchem man bestäubt.

Bei der Anordnung nach Fig. 1 sagt v. Bezold selbst, dass es für Entstehung der einen Figur ganz gleichgültig ist, ob man den zweiten Zuleiter abhebt oder nicht.

---

1) A. Nürnberg, Photogr. Mitt. **33**. p. 160. 1891; Blümel, Wiss. Beil. z. Jahresbericht d. 7. städt. Realschule Berlin, Ostern 1898.

2) J. Friedländer, Verh. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbefleisses, 8. pp. Berlin 1896.

3) K. Bürker, Ann. d. Phys. **3**. p. 474. 1900.

Infolge dessen ändert sich die Anordnung ab nach Fig. 5.

Befestigt man noch die beiden Isolirstellen s der Zuleiter auf einem Gestell, so gelangt man zu der punktirten Anordnung. Der Draht konnte mit der Hand beliebig straff gespannt werden. Die Isolirstellen $s\,s$ kann man auch als einseitig belegte Isolatoren auffassen, welche als Belegung Holz haben und durch den Tisch mit der Erde verbunden sind.

War vorher die Entladung längs des Drahtes auf einer Ebonitplatte untersucht worden, so sollte dieser Versuch mit photographischen Platten erneuert werden, welche zu diesem Zweck längs des Drahtes L angepresst wurden. Der Erfolg war ebensowenig

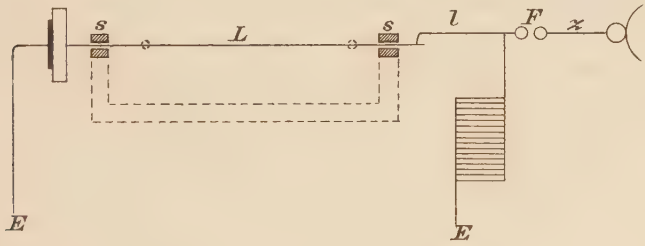

Fig. 5.

befriedigend. War die Entladung positiv, so zeigte die Platte strahlenförmige Aeste senkrecht zum Draht; war sie negativ, so wurde die Platte an den Stellen, wo der Draht dichter anlag, mehr geschwärzt, als an den anderen.[1])

Da diese Aufnahmen im dunklen Zimmer gemacht werden mussten, so konnte man zugleich ein Leuchten des Drahtes beobachten, und zwar leuchtete er an der eingespannten Strecke L nicht an seiner ganzen Länge gleichmässig auf, sondern nur in ziemlich gleichen Abständen, die von dunklen Stellen unterbrochen waren.

---

1) Nach Abschluss meiner Arbeit wurde in der Phys. Zeitschrift Nr. 40. p. 435. 1900 eine Arbeit des Hrn. Thomas Tommasina „Ueber einige durch den Erregerdraht Hertz'scher Wellen erzeugte photochemische Wirkungen" veröffentlicht. In dieser behandelt Hr. Tommasina ganz ähnliche Erscheinungen und bringt Abbildungen, wie auch ich sie zu Anfang meiner Untersuchungen erzielte. Die Ursachen der so gewonnenen Resultate habe ich bereits in einer kurzen Abhandlung in der Phys. Zeitschrift Nr. 43. p. 465. 1900 „Mechanische Schwingungen elektrisch leuchtender Drähte" erörtert.

Ehe jedoch auf diese Erscheinung näher eingegangen wird, ist es vielleicht angebracht, eine kurze Beschreibung der verwendeten Apparate zu geben.

II.

Die ersten Versuche wurden mit einer Holtz'schen Elektrisirmaschine von 42 cm Scheibendurchmesser gemacht. Später wurde eine Wimshurst-Influenz-Elektrisirmaschine mit zwei entgegengesetzt rotirenden Hartgummischeiben von 55 cm Durchmesser verwandt. Diese Maschine wurde durch einen Motor angetrieben, um einen gleichmässigen Gang derselben zu erzielen und auch um ohne fremde Hülfe Beobachtungen machen zu können.

Da der Motor seinen Strom nicht von einer Accumulatorenbatterie erhielt, sondern von der hiesigen Centrale, deren Spannung sehr oft ganz erheblich schwankte, so machte sich dies durch unruhigen Gang der Maschine bemerkbar, was wiederum die Genauigkeit der Resultate beeinflusste.

Auch die Entladung eines Inductoriums mit Teslaanordnung wurde versucht, ohne jedoch nennenswerte neue Resultate zu geben.

Die zur Benutzung kommende Funkenstrecke war für die v. Bezold'schen Versuche besonders angefertigt. Sie sollte möglichst wenig Metall haben, welches eventuell an dem einen Ende des Drahtes als Capacität hätte dienen können. Aus diesem Grunde waren die Kugeln direct auf Hartgummistäben befestigt, welche durch eine Stellvorrichtung gegeneinander verschoben werden konnten. Zum Einklemmen des Drahtes waren an den Kugeln, welche 25 mm Durchmesser besassen, kleine Dübel angelötet.

Das Ablesen der Grösse der Funkenstrecke geschah mittelst Fernrohres für kurze Distanz und einem direct an die Kugeln gehaltenen Glasmaassstab mit Millimeterteilung, wie aus Fig. 6 ersichtlich ist.

Wenn auch bei dieser Anordnung durch die convergenten Lichtstrahlen ein Fehler in der Ablesung entsteht, so ist derselbe doch zu vernachlässigen, wenn man berücksichtigt, dass das Fernrohr 50 cm von den Kugeln entfernt ist und die Entfernung der letzteren voneinander das Maass von 8 mm nicht

überschreitet. Ausserdem springt der Funke ja auch nicht immer genau in der Mittellinie der beiden Kugeln über.

Von Drähten sind solche von verschiedener Dicke und Material zur Untersuchung gekommen. Am besten eignete sich für die vorliegenden Versuche Messingdraht von 0,3 bis 0,5 mm Dicke.

War der Draht dünner wie 0,3 mm, so war die seitliche Entladung so stark, dass eine besondere Erscheinung nicht beobachtet werden konnte. War der Draht dagegen stärker

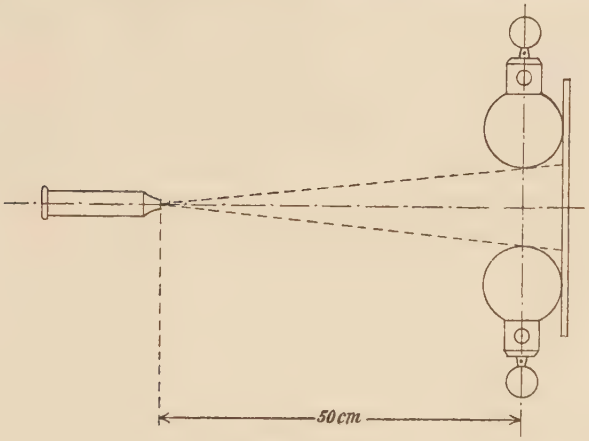

Fig. 6.

als 0,5 mm, so war die Seitenentladung zu schwach. Es kamen daher bei den Versuchen stets Messingdrähte von 0,37 und 0,42 mm Dicke zur Anwendung.

Ausserdem muss noch bemerkt werden, dass zu den vorliegenden Versuchen die Luft sehr trocken sein muss. Die besten Resultate wurden Ende April und Anfang Mai d. J. erzielt, wo die Luft nur 40 Proc. relative Feuchtigkeit besass.

Als Ende Juni einige der Versuche noch einmal wiederholt werden sollten, stiess dies auf grosse Schwierigkeiten und wurde teils unmöglich, da zu dieser Zeit die Luft nach einigen regenreichen Tagen über 70 Proc. relative Feuchtigkeit besass.

III.

Die Seitenentladung eines Drahtes, welcher von einem Strom von sehr hoher Spannung durchflossen wird, ist schon lange beobachtet worden.

Schon van Marum[1]) bemerkte gegen Ende des vorigen Jahrhunderts, als er auf einen dünnen Draht, der am anderen Ende abgeleitet war, einen Funken von seiner grossen Elektrisirmaschine überspringen liess, dass der Draht seiner ganzen Länge nach mit flammendem Licht bedeckt war, welches aus kleinen Strahlen bestand, die aus dem Draht an allen Seiten hervorkamen.

Andere haben wiederum beobachtet, dass der Draht mit leuchtenden Punkten besetzt war. Lodge[2]) benutzte die bei starken Schwingungen an den Drähten auftretenden Seitenentladungen zur Messung der Wellenlängen.

Arons[3]) brachte bei einem seiner Versuche Lecher'sche Drähte in eine Vacuumröhre von 2,5 m Länge. Liess er nun Entladungen durch das System gehen und verdunkelte das Zimmer, so leuchtete die Röhre in ihrer ganzen Länge auf. Legte er aber vor und hinter der Röhre Messingbügel über die beiden Drähte, so teilte sich der Draht in gleichen Abständen in Hell und Dunkel ein und Arons konnte fünf Abteilungen erkennen. Die helle Stelle entsprach einem Bauch, die dunkle einem Knoten der elektrischen Welle.

Tesla[4]) erwähnt eine ähnliche Beobachtung. Ein durch eine mässig evacuirte Röhre gezogener Draht teilte sich beim Anschliessen an den Hochfrequenztransformator in regelmässiger Weise in helle und dunkle Abteilungen.

Coolidge[5]) arbeitete auf diesem Gebiete im Anschluss an Arons weiter. Er benutzte die Lecher'sche Anordnung mit verschiedenen Erregern, und bestimmte nach dieser Methode

1) van Marum, Gilb. Ann. **1.** p. 110. 1799.
2) O. J. Lodge, Proc. Roy. Soc. London **50.** p. 2. 1891.
3) L. Arons, Wied. Ann. **45.** p. 553. 1892.
4) N. Tesla, Untersuchungen über Mehrphasenströme, p. 362. Halle 1895.
5) W. D. Coolidge, Wied. Ann. **67.** p. 578. 1899.

die Wellenlänge der Schwingungen, welche die Erreger aussandten.

Mit Berücksichtigung dieser Arbeit lag bei den Resultaten, wie sie die Versuchsanordnung in Fig. 5 ergeben hatte, die Vermutung nahe, dass man es auch hier mit elektrischen Wellen zu thun habe.

Zunächst war man bestrebt, das Leuchten des Drahtes deutlicher zu machen. Zu diesem Zweck wurde probeweise der Erdschluss hinter der Funkenstrecke fortgelassen; sofort trat das Leuchten deutlicher auf. Da man aber immer noch in Anlehnung an die v. Bezold'sche Anordnung den Erdschluss nicht entbehren zu können meinte, so mussten andere versucht werden. Wasserwiderstände erwiesen sich als unzureichend, da sofort jedes Leuchten aufhörte. Gute Dienste leistete ein feuchtes Brett aus Fichtenholz mit den Dimensionen $60 \times 12 \times 1$ cm.

Weil nun der Erdschluss auf die Erscheinung gar keinen Einfluss zeigte, sondern nur die Intensität des Leuchtens etwas verringerte, so wurde derselbe bei den folgenden Versuchen ganz fortgelassen.

Die Einteilung in helle und dunkle Stellen war nur an demjenigen Teil des Drahtes zu beobachten, welcher isolirt gespannt war, während die beiden Teile vor und hinter dieser Strecke, d. h. bis zur Funkenstrecke und bis zur Probeplatte gleichmässig aufleuchteten. Es wurde daher auch die Nadel von der Probeplatte abgehoben, und den nun folgenden Versuchen lag die Anordnung, wie sie Fig. 7 zeigt, zu Grunde.

Von dem einen Conductor führte ein Draht z zur Funkenstrecke F; der andere Conductor war durch Metalleitung zur Erde abgeleitet. Die Funkenstrecke war durch den Draht l mit dem Prüfungsdraht[1]) L verbunden. Das Spannen und Isoliren des letzteren geschah nach Fig. 7a.

Zwei Hartgummistäbe s waren auf einem Gestell befestigt. An ihren oberen Enden besassen sie Löcher, in welche man durch den conischen Stift K den Draht bequem einklemmen konnte, sodass die Spannung mit der Hand leicht zu reguliren war.

1) Unter Prüfungsdraht sei derjenige Teil verstanden, an welchem die Einteilung in helle und dunkle Stellen untersucht werden soll.

Die Art der Entladung war von wesentlichem Einfluss auf die Erscheinung.

War nämlich der positive Conductor mit der Funkenstrecke verbunden und der negative zur Erde abgeleitet, so zeigte der Prüfungsdraht eine strahlenförmige, nach allen Seiten gleichmässig leuchtende Hülle. Eine Einteilung war nicht zu fixiren, da die hellen Stellen unbeständig sich hin- und herbewegten.

War dagegen der negative Conductor mit der Funkenstrecke verbunden und der positive zur Erde abgeleitet, so

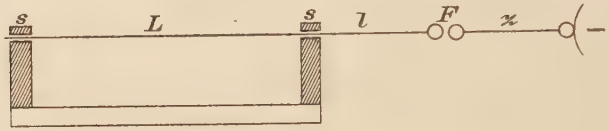

Fig. 7.

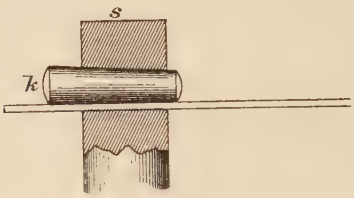

Fig. 7a.

zeigte der Draht ein intensives Glimmen, welches fest stehen blieb, wo es einmal aufgetreten war. War eine Einteilung erfolgt, unter Umständen, welche später noch besprochen werden, so blieb dieselbe unverändert. Aus diesem Grunde ist bei allen Versuchen nur diese letztere Schaltung angewendet.

Zunächst war man bemüht, die Einteilung in helle und dunkle Stellen bei gegebener Funkenstrecke bestimmter zu erreichen. Zu diesem Zweck wurde erst der Draht z bei jedem Versuch immer um 1 cm kürzer gemacht. Dies führte nicht zum Ziele. Dann veränderte man in derselben Weise den Draht l, aber mit dem gleichen negativen Resultate.

Es war nicht möglich, bei gegebener Funkenstrecke und Variiren der Drahtlängen eine gleichmässige Einteilung zu erhalten, wie man eigentlich erwarten konnte, wenn man analog

Coolidge elektrische Wellen annahm. In diesem Falle musste man einmal die Drahtlänge treffen, wo die Welle am Ende einen Bauch hatte, um so mehr, als bei einigen Versuchen die Wellenlänge auf 14 cm geschätzt wurde.

Da die Drahtlängen keinen Einfluss zeigten, so wurden L, l und z aus Gründen der bequemen Handhabung und um den ganzen Draht photographiren zu können, in folgenden Längen angewendet:

$$L = 100 \text{ cm}; \; l = 30 \text{ cm}; \; z = 50 \text{ cm}.$$

Bilder, wie sie bis jetzt erzielt wurden, zeigen die Figg. 8 und 9.

Fig. 8.

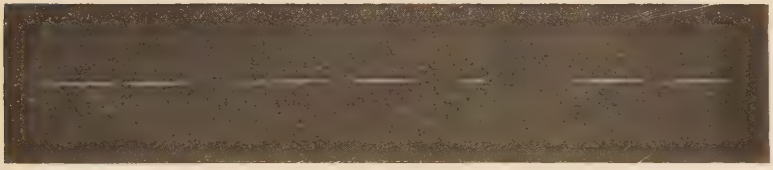

Fig. 9.

Interessant und auffallend hierbei sind die leuchtenden Punkte inmitten der leuchtenden Stellen, und zwar erscheint dieser Punkt auf dem Bilde viel mehr in die Breite gezogen, als man ihn in Wirklichkeit sah.

Besser ist dies bei Fig. 9 zu sehen. Es hat den Anschein, als ob der Draht in Schwingung gewesen wäre und der Punkt deshalb so breit erscheint.

Woher diese leuchtenden Punkte kommen, konnte nicht aufgeklärt werden. Die Annahme, dass es Staubteilchen sind, an denen die Elektricität mehr ausstrahlt, erwies sich später nicht als stichhaltig; denn diese Punkte wanderten immer mit der Welle mit, und man hatte es ganz in der Hand, die Zahl der Punkte zu vermehren oder zu vermindern.

Dass diese auf dem Prüfungsdraht L sich zeigenden Wellen keine elektrischen sein konnten, war schon dadurch hinlänglich bewiesen, dass die Erscheinung unabhängig von der Länge der Zuleitungsdrähte war.

Ein zweites Kriterium bestand darin, dass man das freie Ende des Drahtes L mit der inneren Belegung einer Leydener Flasche verband, während die äussere zur Erde abgeleitet wurde. Auch dieser Versuch blieb ohne Einfluss auf die Einteilung des Drahtes; nur verzehrte die Leydener Flasche etwas von der Ladung und es leuchtete der Draht schwächer auf.

Es blieb nur übrig, die Wellen als entstanden durch mechanische Schwingungen zu erklären. Diese Ansicht wurde auf Grund folgender Ueberlegung zu erweisen gesucht.

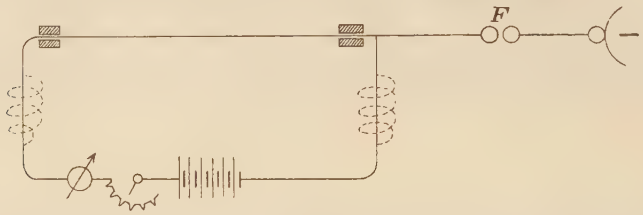

Fig. 10.

Wird ein ausgespannter Platindraht durch einen constanten Strom zum Glühen gebracht und dann in mechanische Schwingungen versetzt, so werden die Stellen, an denen der Draht schwingt, abgekühlt und erscheinen infolge dessen dunkel, während der Draht an den Schwingungsknoten hell aufleuchtet.

Die Schaltung hierzu zeigt Fig. 10.

Der Prüfungsdraht war wie gewöhnlich aufgespannt; ausserhalb der beiden Isolirstellen schloss die Leitung einer Accumulatorenbatterie an. Diese sowohl wie auch die anderen Apparate waren gegen Erdschluss isolirt. Durch allmähliches Ausschalten des Vorschaltewiderstandes wurde der Prüfungsdraht langsam zum Glühen gebracht. Dadurch wird der Draht länger und es muss die eine Isolirstelle zum Verstellen eingerichtet sein, damit der Draht immer die gleiche Spannung behält.

Es wurde Platindraht von 0,2 mm und Messingdraht von 0,37 mm Dicke versucht. Die Befürchtung, dass die bei F überspringende Elektricität fast ganz in der Batterie verzehrt wird, bestätigte sich. Es wurden deshalb, wie in Fig. 10

punktirt angegeben ist, zwischen Prüfungsdraht und Batterie zwei Widerstände mit grosser Selbstinduction eingeschaltet. Es war nur ein geringer Erfolg zu verzeichnen. Es trat zwar ein anderer Zustand des Drahtes ein, sobald ein Funke bei *F* übersprang, indem er nur noch stellenweise glühte, sonst aber dunkel erschien, ohne jedoch eine regelmässige Einteilung wahrnehmen zu lassen. Nur die Grundschwingung des Drahtes war scharf markirt zu erhalten, an den Enden hell und in der Mitte dunkel.

Diese Methode war äusserst empfindlich gegen Luftströmungen und der Misserfolg lag vielleicht an dem elektrischen Winde, der von der Maschine ausging.

IV.

Die Ansicht, dass die Wellen durch mechanische Schwingungen des Prüfungsdrahtes entstehen, gewann um so mehr an Beweiskraft, als man ein lebhaftes Schwanken des Drahtes *l* beobachten konnte, sowie ein Funke bei *F* übersprang.

Um zunächst zu prüfen, ob dieses Schwanken durch äussere Einflüsse bedingt ist, z. B. durch Auseinanderfedern der Funkenstrecke, wurde *l* zur Spirale gedreht, welche den Stoss auffangen sollte. Die Schwankungen dauerten fort.

Nun wurden, da vielleicht Erschütterungen, verursacht durch die Maschine, sich durch den Tisch fortpflanzten, Maschine, Funkenstrecke und Prüfungsdraht getrennt auf je einen festen Tisch gestellt. Erschütterungen durch den Fussboden waren ausgeschlossen; das Schwanken trat trotzdem auf.

Wurden diese Schwankungen durch die Entladung hervorgerufen, so musste nicht nur der Draht *l*, sondern auch *L* schwingen. Eine Untersuchung mit dem Mikroskop, bei einer 30fachen Vergrösserung, zeigte auch deutlich ein Schwingen des Prüfungsdrahtes. Zu nahe durfte man das Mikroskop nicht an den Draht bringen, da man sonst Schläge in das Auge bekam, ausserdem wohl auch die Messingarmatur die Güte der Beobachtung beeinträchtigte.

Spannte man den Prüfungsdraht etwas weniger straff, so konnte man das Schwingen desselben auch mit blossem Auge

sehen; deutlicher, wenn man ihn mittels einer Sammellinse auf einen Schirm projecirte.

Dieses Transversalschwingen hat Hr. O. Lehmann schon früher beobachtet.[1]) Er äussert sich darüber: „Wird der eine Conductor einer Influenzmaschine mit einem mehrere Meter langen mit Staniol bekleideten Brett verbunden, der andere mit einem in etwa 15 cm Entfernung parallel gespannten isolirten feinen Draht, so zeigt sich letzterer längs seiner ganzen Oberfläche mit Glimmlicht bedeckt, welches bei positiver Elektrisirung eine völlig zusammenhängende Hülle bildet, im entgegengesetzen Falle sich aus dicht aneinander gereihten Lichtpunkten zusammensetzt. Bringt man nun eine Neben-

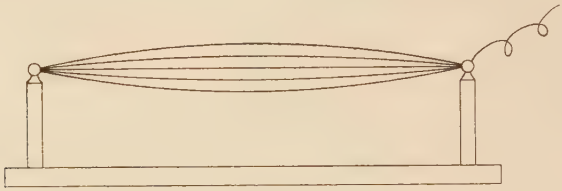

Fig. 11.

schliessung an mit einer 2 cm langen Funkenstrecke, so besetzt sich der Draht, wenn er negativ ist, seiner ganzen Länge nach mit langen, zu seiner Axe senkrechten Büschelstrahlen; ist er positiv, so gerät er in sehr lebhafte Transversalschwingungen, wobei die verschiedenen Schwingungszustände durch plötzliches Aufleuchten infolge rasch nacheinander eintretender Glimmentladungen schön zur Anschauung kommen, ähnlich wie wenn man eine weisse Schnur, welche schwingt, mit rasch intermittirendem Licht beleuchtet.“

Die verschiedenen Schwingungszustände versteht Lehmann hierbei, wie Fig. 11 übertrieben veranschaulicht, so, dass der Draht als ganze Saite schwingt, und die Entfernung von der Mittellage bei jeder neuen Entladung eine andere ist.

Mit dem Mikroskop und auch mit dem Auge konnte man keinen ruhenden Knoten sehen, weshalb man zu der Ansicht gezwungen war, dass der Prüfungsdraht nicht nur im Oberton, sondern auch im Grundton schwingen müsse.

1) O. Lehmann, Wied. Ann. **44.** p. 643. 1891.

Rühren die leuchtenden Wellen von der mechanischen Schwingung des Drahtes her, so entsprechen die leuchtenden Stellen den Knoten und die dunklen Stellen den Bäuchen. Ein Beweis dafür ist, dass der Draht an beiden eingeklemmten Enden immer hell leuchtete, ganz gleich, wie die Einteilung des Drahtes war.

Bleibt man nicht bei derselben Funkenstrecke, sondern verändert dieselbe, so ändert sich auch die Zahl der hellen

Fig. 12.

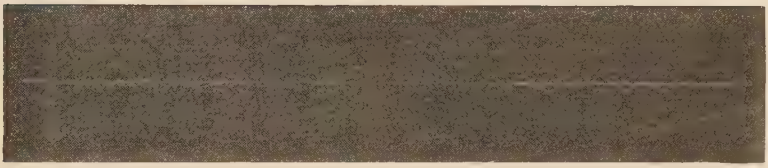

Fig. 13.

Fig. 14.

und dunklen Stellen, und zwar entsprechen der grossen Funkenstrecke wenige Einteilungen, der kleinen dagegen viele. Berühren sich die beiden Kugeln, so ist der Draht mit leuchtenden Punkten besetzt.

Versuche, die Einteilungen photographisch zu fixiren, ergaben wenig scharfe Bilder, da der zur Verfügung stehende Apparat sehr lichtschwach war und man daher sehr nahe an den Prüfungsdraht herangehen musste, um eine gute Belichtung der Platte zu erzielen. Für diese Aufnahmen wäre ein lichtstarkes Weitwinkelobjectiv erwünscht gewesen.

Zur Veranschaulichung und zum Beweisen der Thatsachen mögen jedoch die folgenden Aufnahmen genügen.

Die Figg. 12 bis 14 zeigen die Grundschwingung. Es war schwierig, dieselbe während einer kurzen Zeit festzuhalten.

Fig. 15.

Aus diesem Grunde zeigen die Figg. 13 und 14 schon den Anfang des Zerfalles in kleinere Wellen.

Fig. 15 zeigt, wenn auch schwach, drei Bäuche in ziemlich regelmässigen Abständen. Da die photographischen Er-

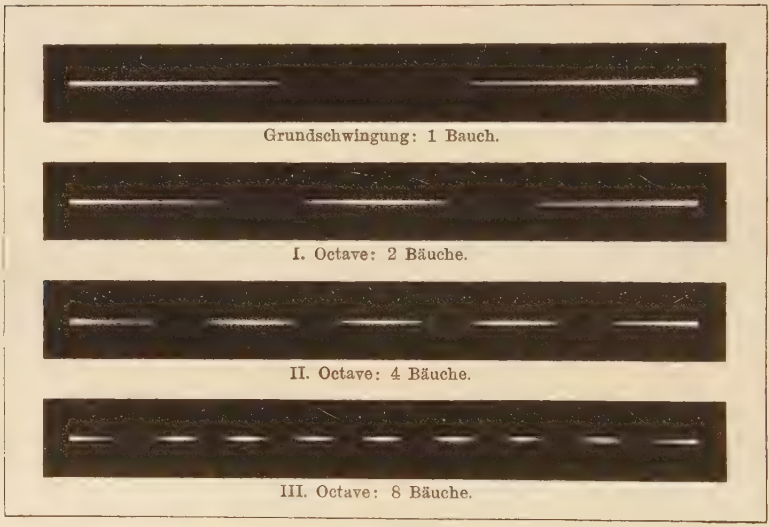

Fig. 16.

folge nicht in recht anschaulicher Weise das wiedergeben, was immer beobachtet wurde, so sei eine zeichnerische Darstellung gestattet, wie sie Fig. 16 bietet.

Es sind hier die Einteilungen wiedergegeben, wie sie am häufigsten erhalten wurden, und zwar konnte man durch Ver-

änderung der Funkenstrecke immer nur Vielfache der vorigen Einteilung erhalten. Entweder erhielt man 1, 2, 4, 8 Bäuche, oder 1, 3, 9 oder auch 1, 3, 6, 12 Bäuche, je nachdem sich der Draht in Schwingung befand oder am Anfang versetzt war.

Die Grösse der Funkenstrecke ergab nicht unbedingt die Anzahl der Bäuche; man konnte bei derselben Funkenstrecke einmal drei, ein anderes Mal vier Bäuche erhalten.

Befand sich aber der Draht in Schwingung, so konnte man nicht von drei zu vier Bäuchen übergehen, sondern musste erst auf die Grundschwingung zurückkehren und versuchen, den Draht mit einem dünnen Glasstab an einem Knoten festzuhalten und so bei gleichzeitiger Aenderung der Funkenstrecke die neue Schwingung zu erzwingen.

Fig. 17.

Einen Versuch, die mechanische Schwingung des Drahtes photographisch nachzuweisen, zeigt Fig. 17.

Der Draht ist vor einem weissen Schirm aufgestellt und dieser von vorn grell beleuchtet. Der Draht muss dann an den schwingenden Stellen unscharf werden, wie man auch auf dem Bilde sehen kann.

Man ging nun daran, die Bedingungen und Ursachen der Einteilung in helle und dunkle Stellen zu untersuchen.

Zuerst war die Frage zu beantworten, ob die Spannung der Saite einen Einfluss hatte.

Der Prüfungsdraht wurde daher so angeordnet, dass er ähnlich wie eine Geigensaite gespannt werden konnte. Die Funkenstrecke war vorher so gestellt, dass sie die Grundschwingung des Drahtes gab. Trotzdem die Spannung bis zum Zerreissen gesteigert wurde, konnte kein Zerfall in kleinere Wellen erzielt werden. Der Draht durfte nur nicht schlaff hängen, sonst war die Spannung beliebig, um eine Einteilung zu erhalten.

Um zu sehen, ob die Grösse der Kugeln von Einfluss ist, wandte man die Schaltung in Fig. 18 an.

Von dem negativen Conductor gingen zwei Drähte zu zwei Funkenstrecken, von denen F_1 Kugeln von 25 mm, und F_2 solche von 85 mm Durchmesser hatte. An diese schloss sich je ein Prüfungsdraht an. Sämtliche Drähte der beiden Seiten waren gleich lang.

Angenommen wurde, dass den grösseren Kugeln auch die grösseren Wellen entsprechen würden. Gerade das Umgekehrte traf ein. Bei F_1 und F_2 mussten gleiche Potentiale herrschen. Waren beide Funkenstrecken nicht gleich gross, so konnten

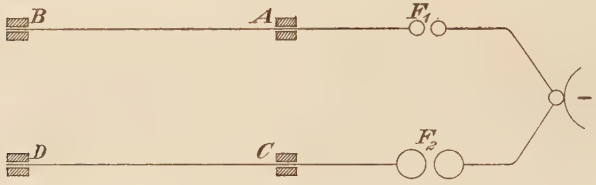

Fig. 18.

die Funken nur auf der kleineren von ihnen überspringen; ein gleichzeitiges Ueberspringen bei beiden bedingte auch deren gleiche Grösse.

Nun zeigte der Draht $C\,D$ die kleinere Welleneinteilung. Diese Erscheinung ist vielleicht damit zu erklären, dass bei F_2 grössere Elektricitätsmengen überspringen als bei F_1, der Draht $C\,D$ daher in lebhaftere Schwingungen gerät als $A\,B$.

Eine Gesetzmässigkeit hierüber konnte nicht aufgestellt werden, da nicht die nötige Auswahl der Kugeln zur Verfügung stand. Hat man es hier mit mechanischen Schwingungen zu thun, so müssen sich bei zwei verschieden langen Prüfungsdrähten, aber bei derselben Funkenstrecke, die Anzahl der Einteilungen verhalten wie ihre Längen. Zu diesem Zweck wurde das nächstliegende und bequeme Verhältnis 2 : 1 genommen, wie Fig. 19 zeigt.

Die Drähte waren hintereinander geschaltet und durch den Zwischendraht $B\,C$ miteinander verbunden. Man erhielt jedoch auch dasselbe Resultat, wenn $C\,D$ direct bei B anschloss. $A\,B$ war 100 cm lang, $C\,D$ 50 cm.

Die Voraussetzung bestätigte sich. Zeigten sich bei einer bestimmten Funkenstrecke F auf dem Draht AB z. B. vier Bäuche, so waren auf CD nur zwei sichtbar. Zeigte hingegen AB sechs dunkle Bäuche, so waren auf CD drei. Immer war das Verhältnis das ihrer Längen. Natürlich kann man hier nur gerade Vielfache einer Wellenlänge anwenden.

Fig. 19.

Zwei Versuche sind noch zu erwähnen, welche bezweckten, das Leuchten des Drahtes intensiver zu machen.

Einmal wurde der Prüfungsdraht in eine Vacuumröhre eingezogen. Hierbei leuchtete die ganze Röhre auf und war eine Einteilung nicht zu erkennen.

Dann verwandte man ein Inductorium mit Teslaanordnung wie in Fig. 20.

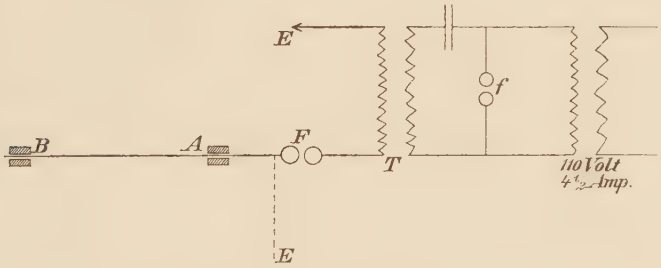

Fig. 20.

Diese Anordnung ergab nicht bessere Resultate als die Elektrisirmaschine. Der Prüfungsdraht war durch die Funkenstrecke F mit dem einen Ende der secundären Spule des Oeltransformators verbunden, während das andere zur Erde abgeleitet war. f war eine regulirbare Zinkfunkenstrecke.

Wollte man eine Einteilung auf dem Prüfungsdraht erhalten, so musste man beide Funkenstrecken zugleich verstellen. Machte man z. B. nur F kleiner, während f blieb, so leuchtete der Draht an seiner ganzen Länge auf. Erst wenn auch f verkleinert wurde, trat auf AB wieder eine Einteilung auf.

Die photographischen Aufnahmen sind jedoch bei Verwendung der Elektrisirmaschine gemacht worden.

V.

Wie bereits gesagt wurde, konnte man an verschiedenen Tagen bei derselben Funkenstrecke eine verschiedene Anzahl leuchtender Wellen erhalten. Aus diesem Grunde wurde zuerst dem Ablesen der Funkenstrecke keine Bedeutung beigelegt. Erst als bei einigen Messungen an demselben Tage die Grössen der Funkenstrecken verglichen wurden, ergab sich, dass immer das gleiche Verhältnis auftrat.

Weil die Schwingungen denen einer Saite entsprechen, man auch hier von Grund- und Oberschwingungen spricht, so lag die Frage nahe, ob man in dem Längenverhältnis der Funkenstrecken das Tonverhältnis wiederfindet.

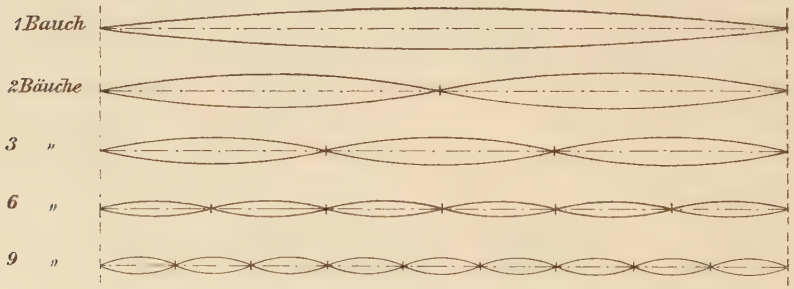

Fig. 21.

Da man nur eine beschränkte Anzahl von Einteilungen erzielte, so konnten nur wenige Zahlen in Betracht kommen. Fast immer war die Anzahl der Wellen das Doppelte der vorherigen Einteilung, d. h. die Octave, und somit muss das Verhältnis 2 : 1 meistens bestehen. Es sei hier gestattet, eine kurze Uebersicht der Schwingungen zu geben, soweit sie hier in Betracht kommen.

Schwingt der Draht im Grundton, so entsteht ein Bauch.

Zwei Bäuche bedeuten die erste Octave des Grundtones. Das Schwingungsverhältnis ist 2 : 1.

Drei Bäuche bedeuten die erste Quinte der ersten Octave, das Schwingungsverhältnis ist 3 : 2.

Sechs Bäuche bedeuten die erste Octave der ersten Quinte, und neun Bäuche die Quinte von der Octave der ersten Quinte.

Schwingt der Draht mechanisch, so muss er auch einen Ton erzeugen. Bei grossen Funkenstrecken kann man zwei Töne hören. Der eine ändert sich sowohl mit dem Laufe der Maschine als auch mit der Grösse der Funkenstrecke. Dies ist der Ton der letzteren, welcher sich in dem Draht fortpflanzt. Ausser diesem kräftigen Ton ist noch ein zweiter tiefer, aber schwacher Ton zu hören, der bald verschwindet oder für das Ohr nicht mehr hörbar wird, sowie der Ton der Funkenstrecke ein höherer ist.

Es lag nun nahe, nach einem Verhältnis zwischen der Zahl der Wellen, der Tonhöhe und der Grösse der Funkenstrecke zu suchen.

Die Untersuchung wurde in zwei Abteilungen geführt, und zwar wurde erst die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Funkenstrecke und dann diejenige der Zahl der Wellen von der Funkenstrecke bestimmt. Ist dann die Abhängigkeit von der Funkenstrecke die gleiche, so konnte man ohne weiteres auf ihr gegenseitiges Verhältnis schliessen.

Zur Bestimmung der Tonhöhe kamen zunächst Stimmgabeln mit 32, 64, 128 Schwingungen zur Anwendung.

Weil es für eine Messung unsicher ist, mit dem Gehör die Terz, Quinte etc. zum Grundton zu bestimmen, man aber zu einem gegebenen Ton viel leichter die höhere oder tiefere Octave bestimmen kann, so wurde ein vorhandener Stimmgabelsatz benutzt, und zwar

C'	mit $n = 256$	Grundton	= I
E'	„ $n = 320$	Terz	= III
G'	„ $n = 384$	Quinte	= V
C''	„ $n = 512$	Octave	= II

Im Folgenden wird nur vom Grundton, Terz etc. die Rede sein, bezeichnet mit I, III etc., nicht aber von den Schwingungszahlen.

Der Gang der Maschine wurde möglichst constant gehalten und die Messungen rasch hintereinander ausgeführt.

Die Funkenstrecke wurde nun so lange verstellt, bis der Ton des Prüfungsdrahtes dem jeweiligen der Stimmgabel entsprach. Dann wurde, wie beschrieben, die Grösse der Funkenstrecke abgelesen. Waren alle möglichen Einteilungen bestimmt, so wurde die Messung wieder rückwärts ausgeführt.

Da die Messungen an verschiedenen Tagen gemacht wurden, so entsprachen dem Ton einer Stimmgabel auch verschiedene Funkenstrecken. Dadurch war es möglich, mit den verwendeten Stimmgabeln Funkenstrecken bis 8 mm zu untersuchen.

Bei den nun folgenden Messungen bezeichnet F immer die Grösse der Funkenstrecke in mm.

Messung I.

	F	n
I	4,2	32
II	2,3	64
III	1,2	128

Das Tonverhältnis ist hier 2 : 1. Vergleicht man die Funkenstrecke, so ist

$$4{,}2 : 2{,}3 = 2 : 1{,}09$$
$$2{,}3 : 1{,}2 = 2 : 1{,}04$$

Auf grössere Genauigkeit wird man auch bei den folgenden Messungen keinen Anspruch machen können, da das Gehör kein absolut sicheres Bestimmen ermöglicht.

Messung II.

	F
I	5,0
III	4,2
V	3,4
II	2,8

Hierbei muss man die Verhältniszahlen des Accordes $1 : {}^5/_4 : {}^3/_2 : 2$ erhalten.

Der Grundton wird immer als 1 gesetzt. Man erhält

$$5{,}0 : 4{,}2 = 5 : 4{,}2 \sim 5 : 4$$
$$5{,}0 : 3{,}4 = 3 : 2{,}04 \sim 3 : 2$$
$$5{,}0 : 2{,}8 = 2 : 1{,}16 \sim 2 : 1$$

Dieselben Betrachtungen wiederholen sich bei den folgenden Messungen.

Messung III.

	F			F_m
I	3,9	4,0	4,0	3,96
III	2,5	3,0	3,0	2,84
V	2,1	2,3	2,5	2,30
II	1,9	1,9	2	1,93

F_m bedeutet das Mittel aus den drei Messungen.

$$3{,}96 : 2{,}84 = 5 : 3{,}6 \sim 5 : 4$$
$$3{,}96 : 2{,}30 = 3 : 1{,}75 \sim 3 : 2$$
$$3{,}96 : 1{,}93 = 2 : 0{,}975 \sim 2 : 1$$

Messung IV.

	F			F_m
I	6,3	6,3	6,1	6,22
III	5,5	5,1	5,5	5,35
V	4,1	3,8	3,8	3,90
II	3,1	3,0	3,0	3,03

$$6{,}22 : 5{,}35 = 5 : 4{,}3 \sim 5 : 4$$
$$6{,}22 : 3{,}9 = 3 : 1{,}89 \sim 3 : 2$$
$$6{,}22 : 3{,}03 = 2 : 0{,}975 \sim 2 : 1$$

Messung V.

	F		F_m
I	8	7,9	7,95
III	6,2	6,0	6,10
V	5,0	4,8	4,90
II	4,0	4,1	4,05

$$7{,}95 : 6{,}1 = 5 : 3{,}85 \sim 5 : 4$$
$$7{,}95 : 4{,}9 = 3 : 1{,}85 \sim 3 : 2$$
$$7{,}95 : 4{,}05 = 2 : 1{,}04 \sim 2 : 1$$

Aus diesen fünf Messungen lässt sich ohne Schwierigkeit das Gesetz ableiten, dass die Tonhöhe der Grösse der Funkenstrecke umgekehrt proportional ist.

Es bleibt nun noch der zweite Teil der Messung zu bestimmen, eine Uebereinstimmung zwischen der Grösse der Funkenstrecke und der Wellenzahl zu finden.

Die jetzt angegebenen Zahlen sind gleich die Mittelwerte aus mehreren Messungen.

Es wurde gefunden bei

Messung I.

F	N
4,10	4
2,05	8

Es bedeute N die Anzahl der Bäuche. Dann verhält sich

$$4{,}10 : 2{,}05 = 2 : 1 = 8 : 4$$

Acht Bäuche entsprechen der Octave der Schwingung mit vier Bäuchen. Mithin verhalten sich hier die Funkenstrecken umgekehrt wie die Anzahl der Bäuche.

Messung II.

F	N
8	2
4	4

$8 : 4 = 2 : 1 = 4 : 2$

Messung III.

F	N
4,2	4
2,2	8
1,2	16

Hier sind zwei Octaven bestimmt; man muss also das Verhältnis 2 : 1 erhalten.

$$4{,}2 : 2{,}2 = 2 : 1{,}05 \sim 2 : 1 = 8 : 4$$
$$2{,}2 : 1{,}2 = 2 : 1{,}09 \sim 2 : 1 = 16 : 8$$

Messung IV.

F	N
3,35	6
2,50	8
1,20	16

Nach Schlussfolgerungen aus den oberen Messungen würde vier Bäuchen eine Funkenstrecke von 5 mm entsprechen. Eine Schwingung mit sechs Bäuchen ist die Quinte derjenigen mit vier Bäuchen, ihr Verhältnis also 3 : 2. Nun ist

$$5 : 3{,}35 = 3 : 2{,}01 \sim 3 : 2$$
$$2{,}50 : 1{,}20 = 2 : 0{,}96 \sim 2 : 1$$

Eine ähnliche Messung ist die folgende:

Messung V.

F	N
4,43	6
6,20	8

Eine Schwingung von vier Bäuchen ist die tiefere Octave derjenigen mit acht Bäuchen, sie würde eine Funkenstrecke von 3,1 mm bedingen.

Nun entsprechen sechs Bäuche der Quinte von vier Bäuchen, ihr Verhältnis ist also 3 : 2. Mithin

$$4{,}43 : 3{,}1 = 3 : 2{,}1 \sim 3 : 2.$$

Diese Messungen sind an verschiedenen Tagen, unabhängig voneinander, gemacht worden. Auch hier findet sich das Gesetz bestätigt, dass die Zahl der auf dem Prüfungsdraht entstehenden Wellen im umgekehrten Verhältnis zur Grösse der Funkenstrecke steht.

Im Anschluss hieran erschien es interessant zu untersuchen, ob die Tonhöhe abhängig ist von der Anzahl der überspringenden Funken, und welche Gesetzmässigkeit hier herrscht.

Dass die Anzahl der Funken die Höhe des Tones bedingt, beweist sofort ein verschieden schneller Gang der Maschine. Es ist klar, dass bei einem schnelleren Lauf der Influenzmaschine mehr Funken überspringen müssen als bei einem langsamen. Hält man jedoch den Gang derselben constant, so leuchtet nicht von vornherein ein, wie die Funkenzahl bei wachsender Funkenstrecke abnimmt.

Angaben hierüber sind in der Literatur nicht zu finden gewesen.

Dagegen sind Messungen von Potentialen an Funkenstrecken in grosser Zahl gemacht worden. Lane, Harris, Riess fanden, dass die Schlagweite bei gleichem Zustande der Luft dem Potentialwert der Belegung proportional ist. Neuere Untersuchungen haben diese Gesetzmässigkeit nicht ergeben.

Indem man nun durch gleichmässigen Gang der Maschine das Potential constant hielt, wurde versucht, das Gesetz des

Zusammenhanges von Funkenzahl und Schlagweite mit Hülfe einer photographischen Methode zu prüfen.

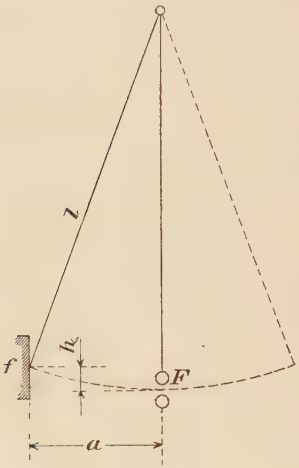

Fig. 22.

Man liess nämlich die Funkenstrecke vor dem Objectiv einer Camera vorbeischwingen. Um immer die gleiche Geschwindigkeit zu haben, befestigte man die Funkenstrecke an einem Secundenpendel, wie Fig. 22 schematisch zeigt, und zog dasselbe immer um das gleiche Stück a aus der Gleichgewichtslage, welches durch den feststehenden Anschlag f markirt war.

Es war

$$l = 100\,\text{cm}, \quad a = 12\,\text{cm}.$$

Hieraus berechnet sich

$$h = l - \sqrt{100^2 - 12^2} = 100 - 99{,}277,$$

$$h = 0{,}723\ \text{cm}.$$

Die Geschwindigkeit beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage ist

$$v = \sqrt{2\,g\,h} = \sqrt{2\,.\,981{,}4\,.\,0{,}723},$$

$$v = 37{,}67\ \text{cm}.$$

Die Schwingungsdauer wurde bestimmt mit

$$t = 0{,}9545''$$

Der Apparat gab die Funkenstrecke in Naturgrösse wieder.

Die Geschwindigkeit der Influenzmaschine wurde nach dem Takte eines Metronom mit der Hand constant gehalten.

Es wurden mehrere Versuchsreihen mit den Strecken $F = 1, 2, 4, 6$ mm angestellt. Die Conductoren der Maschine waren mit den Kugeln der Funkenstrecke direct verbunden.

Leider fielen diese Versuche in eine Zeit, wo fast täglich reichliche Niederschläge stattfanden, und die Feuchtigkeit der Luft eine sehr grosse war. Es war deshalb unmöglich, ein Ueberspringen der Funken bei $F = 8$ mm zu erhalten, während dies früher bei $F = 25$ mm noch erreicht wurde. Aus diesem Grunde wird das Resultat viel zu ungünstig sein. Es werden bei trockener Jahreszeit genauere Resultate zu erzielen sein.

Die so gewonnenen Ergebnisse zeigen die Figg. 23 a — d

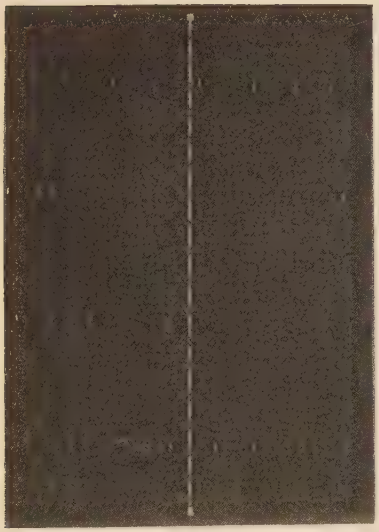

Fig. 23a. $F = 1$ mm.

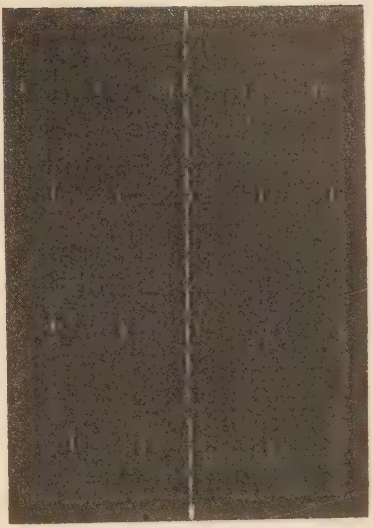

Fig. 23b. $F = 2$ mm.

Fig. 23c. $F = 4$ mm.

Fig. 23d. $F = 6$ mm.

Mehrere Aufnahmen auf einer Platte wurden durch Verschieben des Objectivbrettes erhalten. Die Ruhelage des Pendels wurde oben und unten markirt, und diese Marken auf dem Negativ durch eine Mittellinie verbunden.

Nimmt man die Geschwindigkeit des Pendels in der Nähe der Ruhelage als gleichmässig an, so kann aus den vier Werten bei jeder Aufnahme im Mittel berechnet werden, auf wieviel Centimeter ein Entladungsfunke fällt.

Man findet:

bei $F = 1$ mm	entfällt	1	Funke	auf	0,86	cm
„ $F = 2$ „	„	1	„	„	1,50	„
„ $F = 4$ „	„	1	„	„	2,62	„
„ $F = 6$ „	„	1	„	„	3,43	„

Nimmt also die Zahl der Funken umgekehrt mit der Grösse der Funkenstrecke ab, so müssen sich diese Zahlen rechts wie die Funkenstrecken verhalten.

Betrachtet man trotz der wenig lebhaften Funkenbildung $F = 6$ mm als normal, entfällt also hier ein Funke auf 3,43 cm, so muss nach der Annahme bei $F = 4$ mm ein Funke auf

$$\frac{4}{6} \cdot 3{,}43 = 2{,}3 \text{ cm}$$

entfallen.

In Wirklichkeit entfällt er auf 2,62 cm; man gewinnt also nur

$$\frac{2{,}3}{2{,}62} \cdot 100 = 88 \text{ Proc.}$$

und verliert 12 Proc. der Funken.

Nimmt man nun die Funkenzahl bei $F = 4$ mm als normal an, so rechnet man ganz analog für $F = 2$ mm einen Verlust von 11,8 Proc. aus und endlich für $F = 1$ mm 12,8 Proc.

Man erhält so im Durchschnitt eine Genauigkeit von 80 Proc., was nicht überraschend kam.

Bei dem zweiten Teil dieser Aufgabe bediente man sich der gleichen Anordnung, nur wurde, wie bei den früheren Versuchen, der positive Conductor zur Erde abgeleitet, der negative mit der Funkenstrecke verbunden, an deren anderen Kugel der Prüfungsdraht angehängt wurde.

Da hier ohne Rückleitung gearbeitet wurde, so sind die Funkenbilder bedeutend schwächer. Es wurden zwei Versuche an verschiedenen Tagen angestellt mit den Stimmgabeln $n = 64$ und $n = 128$.

Die Funkenstrecke wurde so lange verstellt, bis der Ton des Prüfungsdrahtes mit dem der Stimmgabel übereinstimmte. Dann liess man die Funkenstrecke vor der Camera vorbeischwingen.

Tiefe Töne zu bestimmen war schwierig, da das Ohr zu unzuverlässig war. Bei hohen Tönen wird die Funkenstrecke so klein, dass der Funke auf die photographische Platte nicht mehr wirken kann.

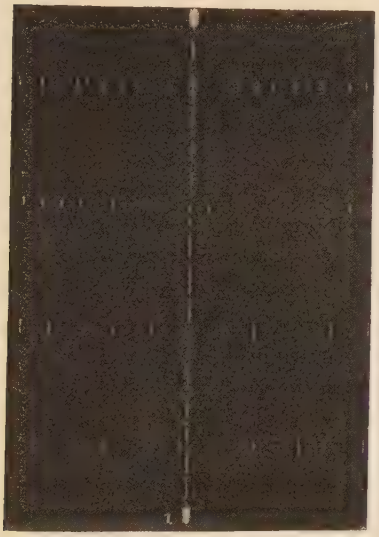

Fig. 24.

Fig. 25.

Eine andere Fehlerquelle war noch dadurch vorhanden, dass der Gang der Maschine mit der Hand constant gehalten werden musste.

Die Aufnahmen sind in den Figg. 24 u. 25 wiedergegeben. Der kleineren Funkenstrecke entspricht die grössere Schwingungszahl des höheren Tones und umgekehrt.

Bei Fig. 24 lässt sich leicht aus den oberen zwei Aufnahmen bestimmen, dass auf

1 cm entfallen 3 Funken

und da die Geschwindigkeit $v = 37{,}67$ cm ist, so entfallen auf die Secunde

$$3 : 37{,}67 = 113{,}01 \text{ Funken.}$$

Die Stimmgabel machte 128 Schwingungen in der Secunde. Man erreichte also eine Genauigkeit von 88,3 Proc.

Analog bei den unteren zwei Aufnahmen entfallen

auf 1 cm 1,32 Funken,

„ 37,67 cm 49,72 Funken.

Da die Stimmgabel 64 Schwingungen machte, bedeutet dies eine Genauigkeit von 77,5 Proc.

Bei Fig. 25 ist dieselbe Berechnung anzustellen. Es ergaben sich 119,19 bez. 45,23 Funken, was einer Genauigkeit von 93,1 Proc. bez. 70,7 Proc. gleichkommt.

Auch hier würde man bei trockenem Wetter bessere Resulte erzielen können.

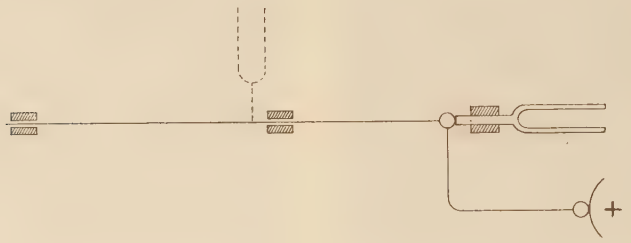

Fig. 26.

Hierdurch ist mit einiger Genauigkeit der Beweis erbracht, dass der Ton einer Funkenstrecke der Zahl der überspringenden Funken entspricht.

Betrachtet man die bisherigen Ergebnisse, so könnte man leicht den Schluss ziehen, dass bei gleichbleibender Funkenstrecke und doppelter Tourenzahl der Maschine der Ton doppelt so hoch wird und auch der Prüfungsdraht die doppelte Welleneinteilung zeigen müsste. Diese konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

Auch misslang ein Versuch, die Einteilung des Prüfungsdrahtes durch mechanische Erschütterungen mittels einer Stimmgabel zu erhalten.

Die Anordnung zeigt Fig. 26. Die eine Kugel der Funkenstrecke wurde mit dem Prüfungsdraht und dem positiven Conductor der Maschine verbunden. Mit dem letzteren deshalb, um ein gleichmässiges Leuchten zu erreichen; da durch Ver-

bindung mit dem negativen Conductor der Draht sich nur mit leuchtenden Punkten besetzte. An die Kugel wurde nun eine in Schwingung versetzte Stimmgabel gehalten und sollte so der Draht eine Welleneinteilung zeigen durch die Stösse, die sich in ihm fortpflanzen.

Das Experiment gelang nicht, ebensowenig, wenn man die Stimmgabel seitlich, wie punktirt, an den Draht hielt.

Zieht man die gefundenen Resultate zusammen, so kann man folgende Sätze aufstellen:

1. Lässt man an einem Ende eines isolirt ausgespannten Drahtes Elektricität von hoher Spannung überspringen, so gerät der Draht in Transversalschwingungen.

2. Ist diese Elektricität negativ und die Spannung so hoch, dass sichtbare Seitenentladungen längs des Drahtes stattfinden, so wird diese an den Stellen, an denen sich der Draht in Schwingung befindet, für das Auge unsichtbar und bleibt nur an den Schwingungsknoten sichtbar. Man erhält so das Bild einer leuchtenden Welle.

3. Durch Veränderung der Funkenstrecke kann man die Zahl dieser Wellen vergrössern und verkleinern. Die Anzahl der Schwingungsbäuche ist umgekehrt proportional der Grösse der Funkenstrecke.

4. Die Höhe des Tones, der längs des gespannten Drahtes hörbar ist, ist umgekehrt proportional der Grösse der Funkenstrecke und seine Schwingungszahl entspricht der Anzahl der überspringenden Funken.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinen hochverehrten Lehrern, Hrn. Professor Dr. Wachsmuth für die Anregung zu dieser Arbeit, und dem Director des Physikalischen Instituts, Hrn. Professor Dr. phil. et med. L. Matthiessen, für die Bereitwilligkeit, mit der er mir die erforderlichen Apparate zur Verfügung stellte, meinen ergebensten Dank auszusprechen.